

Лекция 16. Движение тел при наличии трения

Содержание

1. Силы трения. Сухое трение
Статическое и кинематическое трение
2. Вязкое трение. Движение тел в вязкой среде.
3. Трение качения
4. Основные представления о возникновении сил трения
5. Значение сил трения в технике

Силы трения. Сухое трение. Статическое и кинематическое трение

Силами трения называют силы, возникающие при соприкосновении поверхностей двух тел или частей одного тела и **препятствующие** их взаимному **перемещению**. Они приложены к телам (или к их частям) вдоль поверхности соприкосновения и всегда направлены в сторону, **противоположную** относительной **скорости** движения.

Силы трения отличаются от рассматриваемых в механике сил всемирного тяготения и упругих сил тем, что эти силы зависят не только от конфигурации тел, т. е. от их **взаимного расположения**, но также еще от **относительных скоростей** тел, между которыми они действуют.

Отметим, что **силы трения** зависят от многих факторов, которыми сопровождается **движение** тел при наличии трения.

В связи с этим описание сил трения возможно лишь при помощи **эмпирически** найденных **приближенных** законов, которые часто являются довольно **приближенными**.



Если **силы** трения действуют между различными соприкасающимися телами (например, между телом и плоскостью, по которой оно движется или находится в покое), то такое **трение** называется **внешним**.

Чисто внешнее трение является **сухим трением**, оно возникает в том случае, если между телами **отсутствует** слой **смазки**.

Силы **сухого трения** возникают не только при скольжении одного тела по поверхности другого, но и при попытке вызвать также скольжение.

Существует **три вида** внешнего трения: трение **покоя**, трение **скольжения** и трение **качения**.

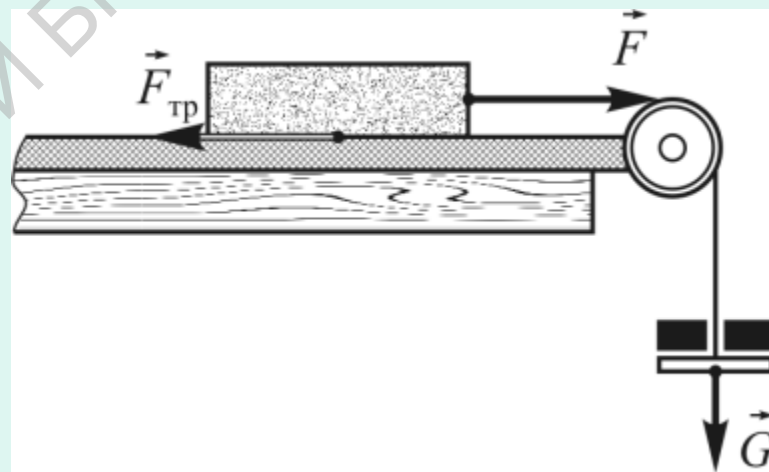
Существование трения **покоя** является характерной особенностью **сухого** трения.

Силы **сухого трения** существенно **зависят** от степени обработки соприкасаемых поверхностей, их чистоты и относительной скорости.

Характерная особенность этих сил заключается в том, что **сила трения** не обращается в **нуль** и тогда, когда относительная скорость тел становится равной **нулю**.

Сила трения, которая существует между телами, которые соприкасаются, но не движутся под действием приложенной силы, носит название **силы трения покоя**.

Результаты **опыта** позволяют сделать вывод, что в том случае, когда на тело, находящееся на поверхности другого тела, вдоль поверхности их соприкосновения **сила не действует**, то **сила трения** при этом также равна **нулю**.



Однако по мере возрастания величины **внешней силы**, которая должна была бы вызвать скольжение, будет возрастать и противоположно ей направленная **сила трения покоя**.

Сумма рассматриваемых сил будет оставаться равной нулю до тех пор, пока тело не придет в движение.

Как видно, сила трения покоя — неоднозначная величина. Она изменяется с изменением внешней силы так, чтобы уравновесить внешнюю силу.

Изменение силы трения покоя происходит до некоторого максимального значения F_{\max} , при котором возникает скольжение данного тела по поверхности соприкасающегося с ним другого тела.

Таким образом, трение скольжения происходит тогда, когда одно тело, имея скорость по отношению другого, неподвижного тела, за все время движения соприкасается с ним определенной частью своей поверхности и скользит по нему.

Законы трения скольжения были сформулированы французскими физиками Амонтоном (1663—1705) и независимо от него Кулоном (1736—1806).

Кулон экспериментально установил, что **сила трения** не зависит от площади поверхности, вдоль которой тела соприкасаются, и пропорциональна силе нормального давления N , с которой одно тело действует на другое.

Аналитический вид этого закона

$$F_{\text{тр}} = \mu N$$

Постоянная μ называется **коэффициентом трения** и зависит от природы и состояния трущихся поверхностей.

Если тела покоятся друг относительно друга при максимальном значении, которое может принимать **сила трения покоя**, μ называют **коэффициентом трения покоя**.

Если же тело скользит по поверхности другого тела, μ называют **коэффициентом трения скольжения**.

Закон Кулона является приближенной зависимостью, применимой лишь в **условиях умеренных давлений**.

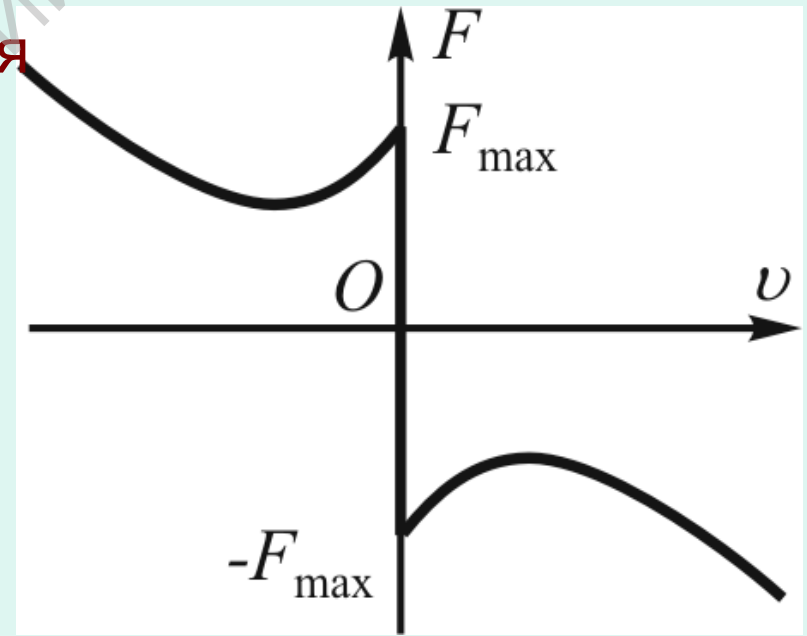
Характер зависимости силы трения скольжения от скорости различен для разных тел и зависит от обработки поверхностей.

Типичная такая **зависимость** изображена на рисунке.

Сила трения скольжения вначале медленно падает с увеличением скорости, достигает минимального значения, а затем снова начинает возрастать.

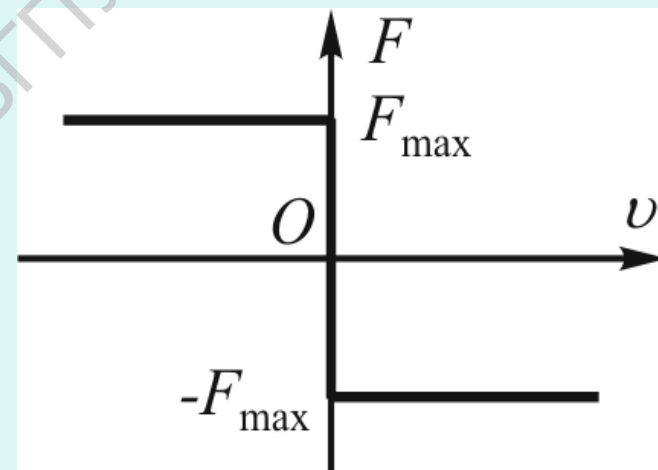
При **скорости $v=0$** **сила трения** может принимать любые значения по абсолютной величине, меньшие или равные F_{\max} .

Этому соответствует **вертикальный участок** характеристики, совпадающий с осью ординат.



В некоторых специальных случаях (трение металлических тел при специальной обработке соприкасающихся поверхностей) сила трения скольжения для сравнительно небольшого интервала скоростей примерно равна предельной силе трения покоя и не зависит от скорости движения.

Характерная зависимость силы трения от скорости в этих случаях изображена на рисунке и к ней применим закон Кулона.



Приборы, с помощью которых производят измерение сил трения скольжения, называются трибометрами.

Вязкое трение. Движение тел в вязкой среде

Трение называется **вязким**, если оно существует между поверхностью **твёрдого** тела и окружающей его **жидкой** или газообразной средой, в которой оно движется, а также трение между различными слоями такой среды. Иногда вязкое трение называют **жидким трением**.

Поскольку силы **вязкого трения** возникают между различными частями одного и того же тела (например, в жидкостях и газах), скорости слоев которых непрерывно меняются от слоя к слою, то такое трение является **внутренним трением**.

При движении тел в жидкостях и газах на них действуют **силы внутреннего (вязкого) трения** и **силы нормального давления** со стороны среды.

Суммарная **сил давления**, действующих на тело со стороны среды, имеет составляющую, направленную **против движения** тела.

Данная составляющая получила название **силы сопротивления среды**.

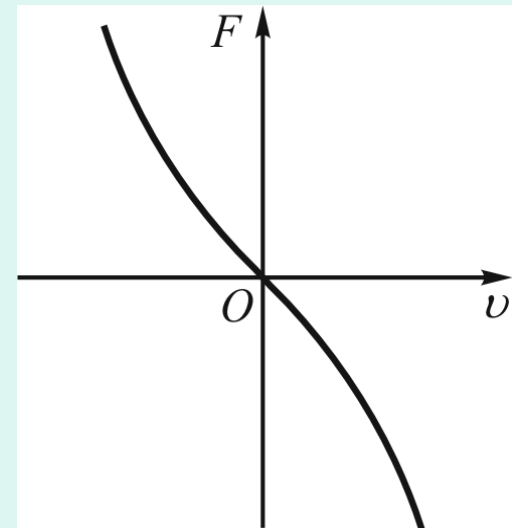
Для **сил вязкого трения** характерно **отсутствие сил трения покоя**, потому что **силы вязкого трения обращаются в нуль**, когда относительная скорость движения слоев среды оказывается **равной нулю**.

В этом легко убедиться на следующих **примерах**.

Человек может привести в движение тяжелую **баржу** относительно воды, если он будет тянуть за канат, привязанный к ней; **легкий порыв** ветра приводит в движение **поплавок удочки**.

Зависимость силы вязкого трения от скорости движения изображена на рисунке.

Сила вязкого трения с увеличением скорости в пределах относительно небольших скоростей **растет** сначала линейно, а затем пропорционально квадрату скорости.



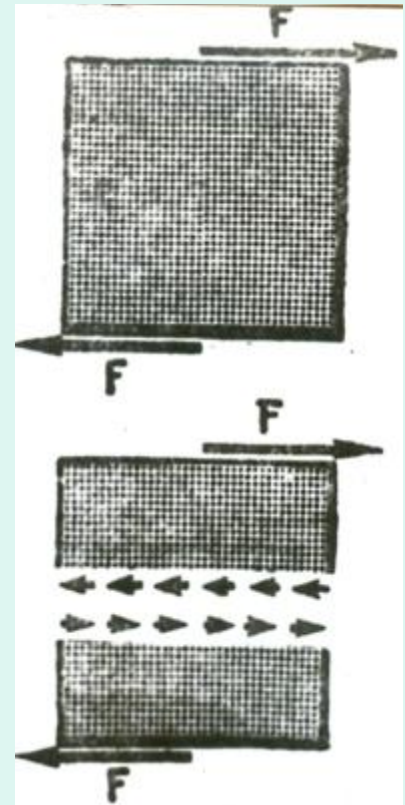
Для **малых** скоростей сила **вязкого** трения

$$F = \mu_1 v .$$

При достаточно **больших** скоростях сила **вязкого** трения
изменяется по квадратичному закону

$$F = \mu_2 v^2 .$$

Коэффициенты μ_1 и μ_2 в значительной
степени **зависят** от формы и размеров тела,
направления его движения, состояния
поверхности тела и от свойств
окружающей среды.



Трение качения

Важной разновидностью внешнего трения является трение качения.

Этот вид трения широко используется в технике вследствие значительно меньших значений силы трения качения по сравнению с внешним трением скольжения.

Основная причина, которая вызывает возникновение силы трения качения, обусловлена потерями энергии механического движения на упругий гистерезис, связанный со сжатием под нагрузкой катящегося тела и материала основания.

Для качественного объяснения возникновения сил трения качения рассмотрим более подробно качение цилиндра по горизонтальной плоскости.

Опыт показывает, что при качении цилиндра без скольжения с течением времени он останавливается.

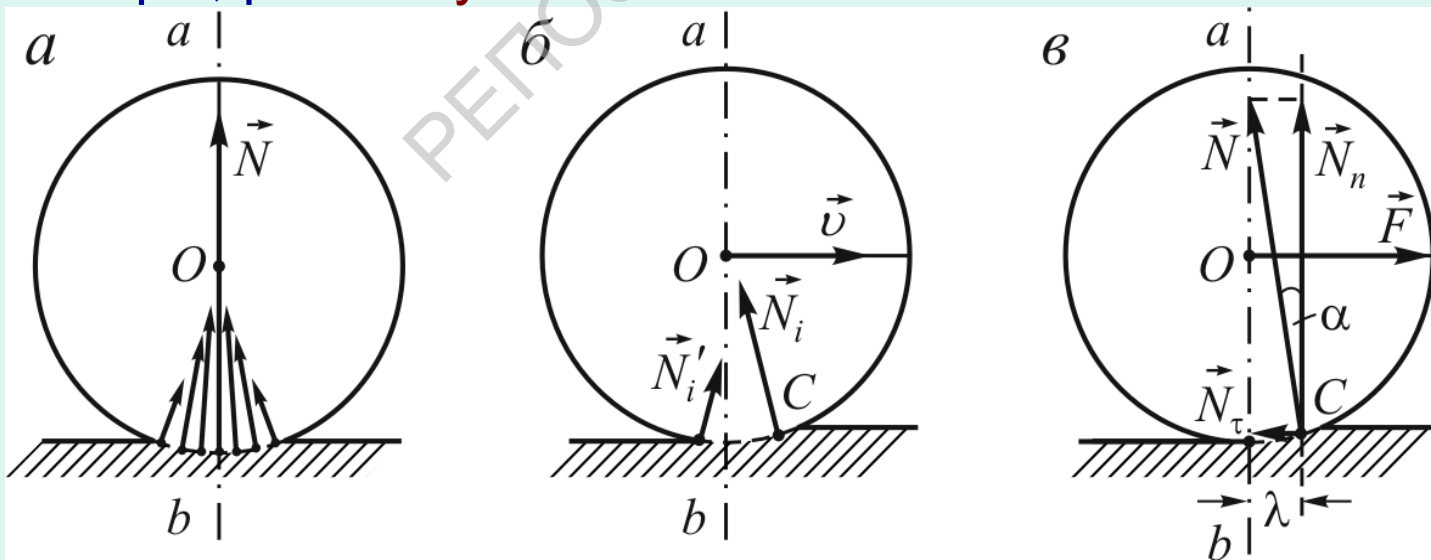
Это вызвано тем, что при качении цилиндра возникает сила трения, которая препятствует его движению.

Рассмотрим случай, когда однородный цилиндр радиуса R равномерно катится по горизонтальной плоскости.

К оси цилиндра в этом случае должна быть приложена постоянная горизонтальная сила \vec{F} в направлении движения, равная по модулю силе трения качения \vec{F}_k .

Также к оси приложена и сила тяжести \vec{P} , направленная вертикально вниз.

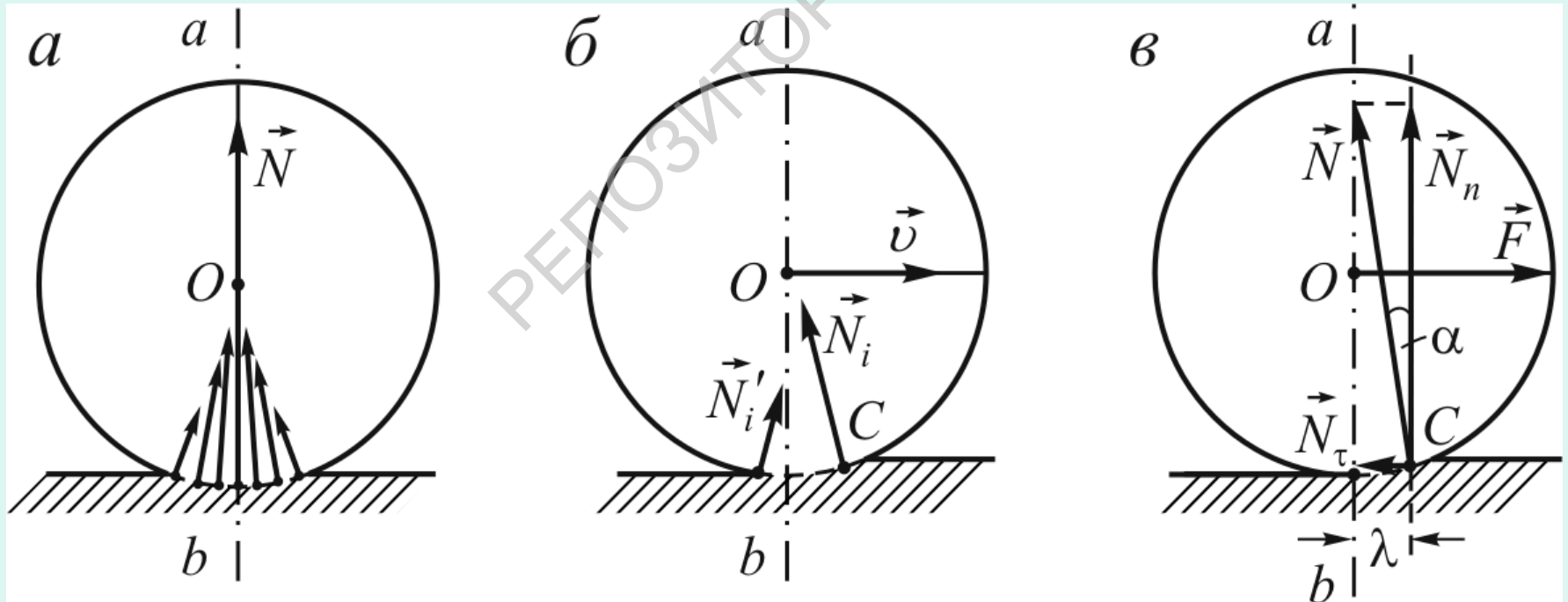
Резльтирующий момент этих сил, действующих на цилиндр относительно мгновенной оси вращения, которая совпадает с образующей цилиндра и проходит через точку C приложения силы реакции опоры, равен нулю.



Разложим силу реакции опоры \vec{N} на нормальную \vec{N}_n и касательную \vec{N}_τ к горизонтальной поверхности составляющие:

$$N_n = N \cos \alpha, \quad N_\tau = N \sin \alpha.$$

Поскольку в практических случаях деформации невелики и угол α ничтожно мал, то можем принять: $N_n \approx N$ и $mg \approx N$.

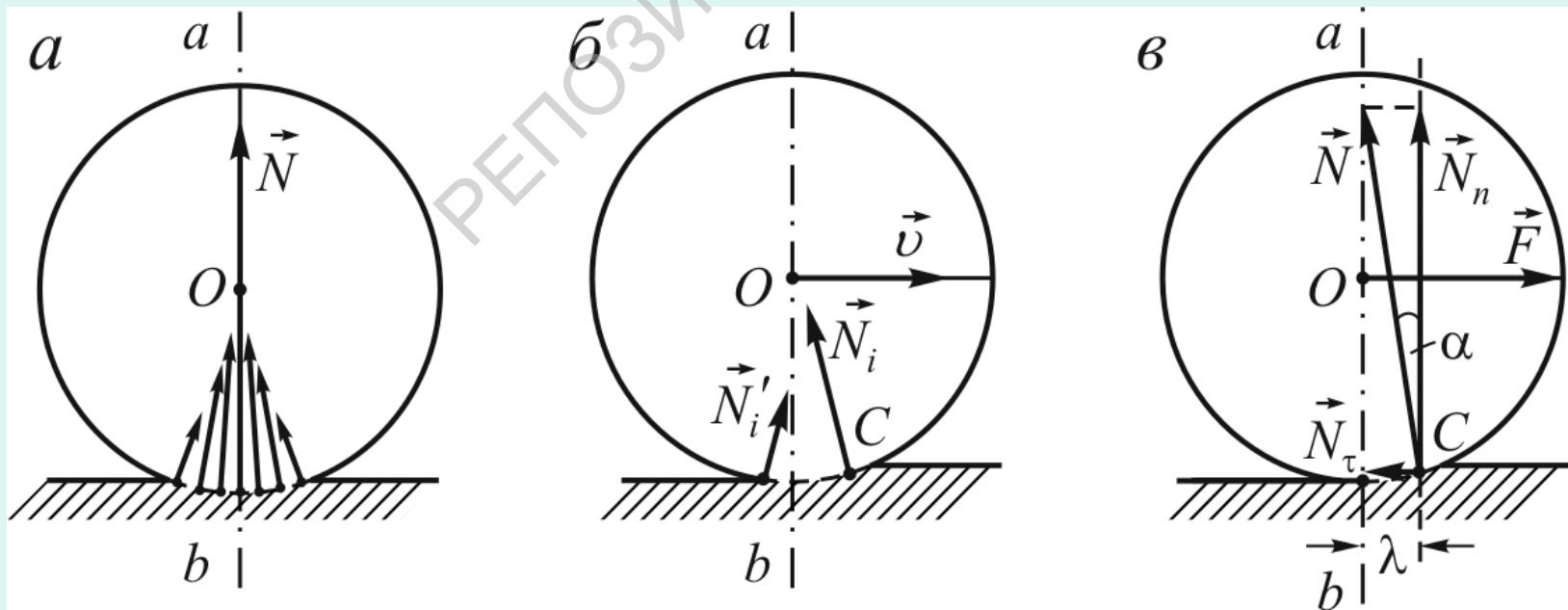


Равенство моментов силы F и силы тяжести P относительно мгновенной оси вращения приводит к соотношению $FR = mg\lambda$ или $FR = N\lambda$.

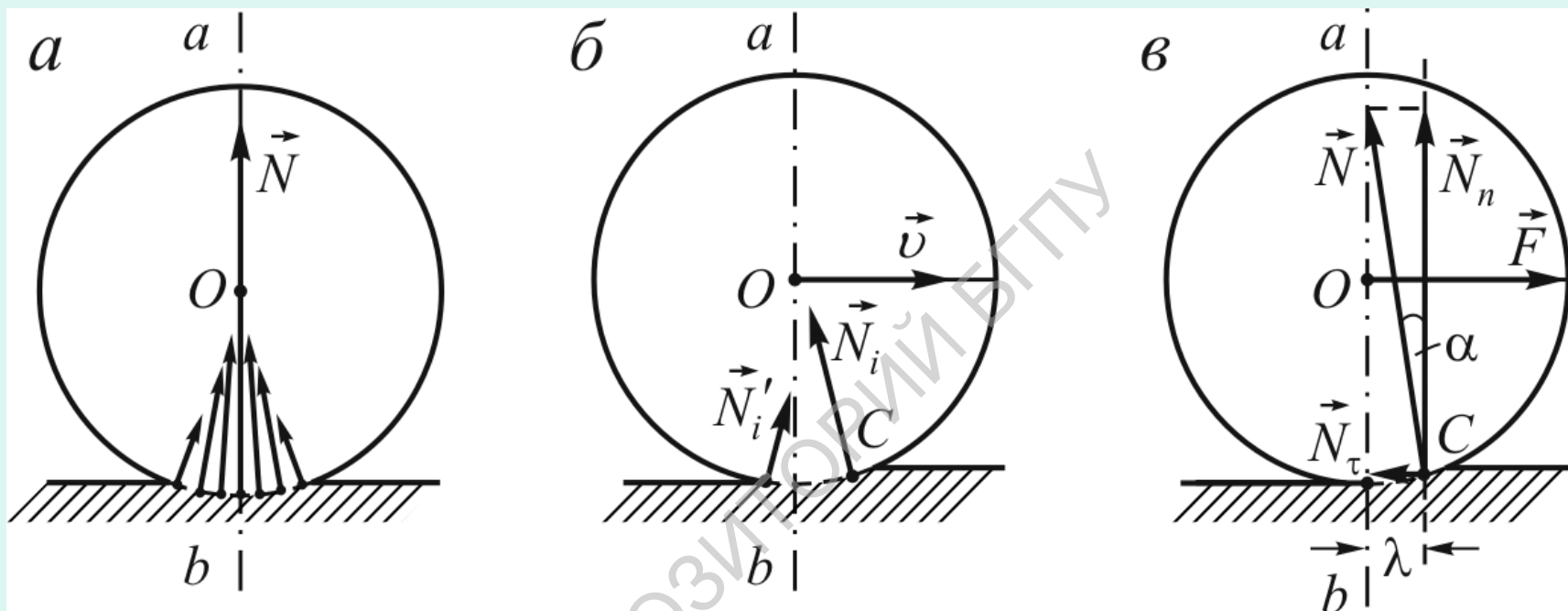
Откуда

$$F_{\text{к}} = \lambda \frac{N}{R}$$

В этой формуле расстояние λ между точкой приложения результирующей силы реакции опоры и вертикальной плоскостью, проходящей через ось цилиндра, называется коэффициентом трения качения.



Как видно из рисунка, λ представляет собой **плечо силы ТЯЖЕСТИ** относительно мгновенной оси вращения.



Коэффициент трения качения существенно зависит от природы тел, которые участвуют в трении качения, характера покрывающих их пленок и скорости качения.

Обычно для металлов (сталь по стали) коэффициент лежит в пределах (0,01—0,02) мм.

Основные представления о возникновении сил трения.

Различные современные **теории**, объясняющие появление **сил трения**, сходятся на том, что основная причина явления — это неровности поверхностей соприкасающихся тел, деформации и диспергирование их, происходящие вследствие **давления и трения** во время **движения**.

Эти теории основываются на значении **молекулярных сил**, которые обуславливают трение даже идеально полированных поверхностей.

В результате трения трущиеся поверхности **нагреваются**, что указывает на **преобразование** кинетической **энергии** во внутреннюю.

Вследствие волнистости и шероховатости каждой из **поверхностей** касание двух твердых тел происходит в дискретных областях, так называемых **пятнах касания**.

Пятна касания — это элементарные **площадки** контакта, возникающие в результате упругих или пластических деформаций неровностей **соприкасающихся** тел.

Размеры пятен касания зависят от свойств контактирующих тел и условий нагружения и колеблются в пределах от 1 до 50 мкм.

Шероховатости поверхностей накладываются друг на друга, поэтому при сдвиге в местах контакта возникают **микродеформации**.

Электромагнитные силы отталкивания, возникающие при этом, макроскопически проявляются как **силы трения**.

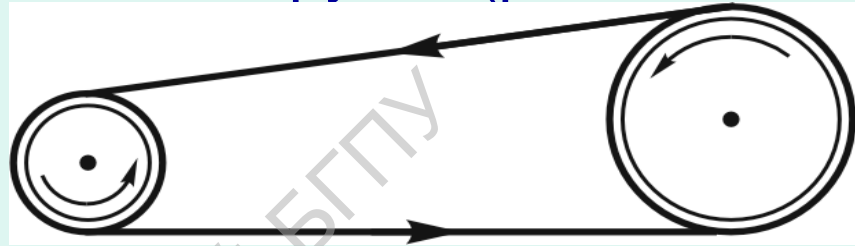
Наличие **статического трения** является причиной явления **застоя** во многих механизмах и измерительных приборах.

Это явление заключается в том, что **трогание с места** и **скольжение** начинаются не сразу, а лишь после приложения некоторой определенной **силы**.

Это создает известный **предел повышению чувствительности**, например, стрелочных приборов, который обусловлен тем, что ось стрелки прибора обычно укрепляется в подшипниках и вращение стрелки связано со **скольжением оси** в подшипнике.

Явлением застоя обусловлено отсутствие взаимного перемещения двух тел при действии **касательных сил**, меньших силы трения покоя.

Это явление широко используется в **технике** для передачи усилий от одних деталей машины к другим (различные типы **клиновидных передач**).



Ремень и **ведомый шкив** приводятся в движение силами **статического трения**, которые действуют между шкивами и надетым на них ремнем.

Силы **статического трения** определяются силами, действующими на **ведомый шкив**.

Если силы, которые действуют на **ведомый шкив** со стороны **ведущего**, оказываются **бóльшими**, чем максимальная сила статического трения между ремнем и шкивом, то возникает **скольжение ремня** по ведомому шкиву.

Поскольку сила трения скольжения **меньше** силы статического трения, то скорость ведомого шкива падает.

В данном примере явление **застоя** играет **положительную** роль.

Значение сил трения в технике

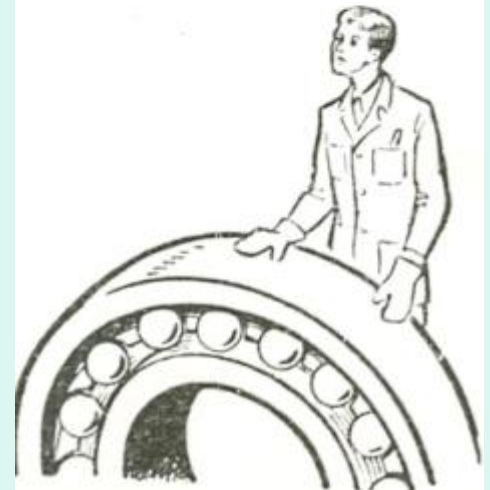
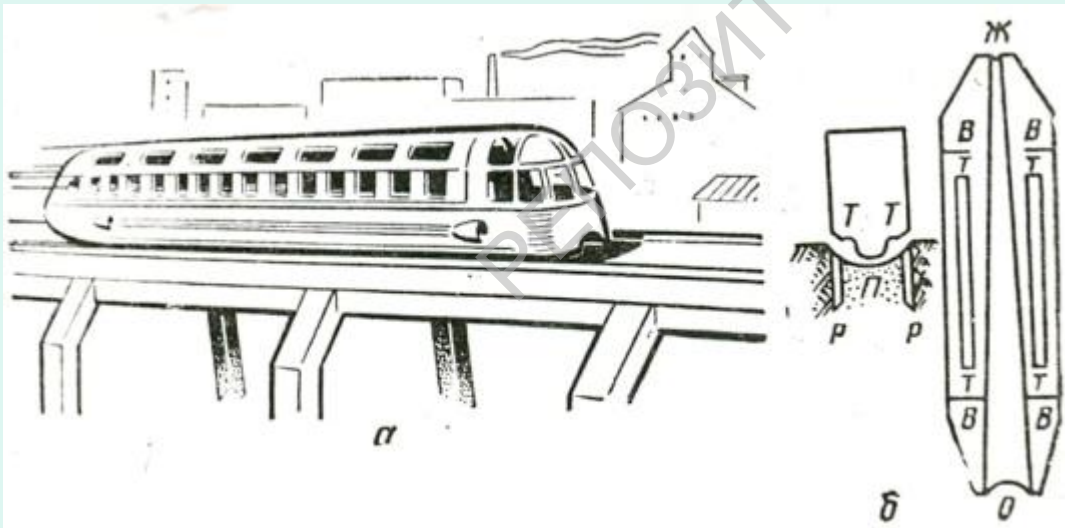
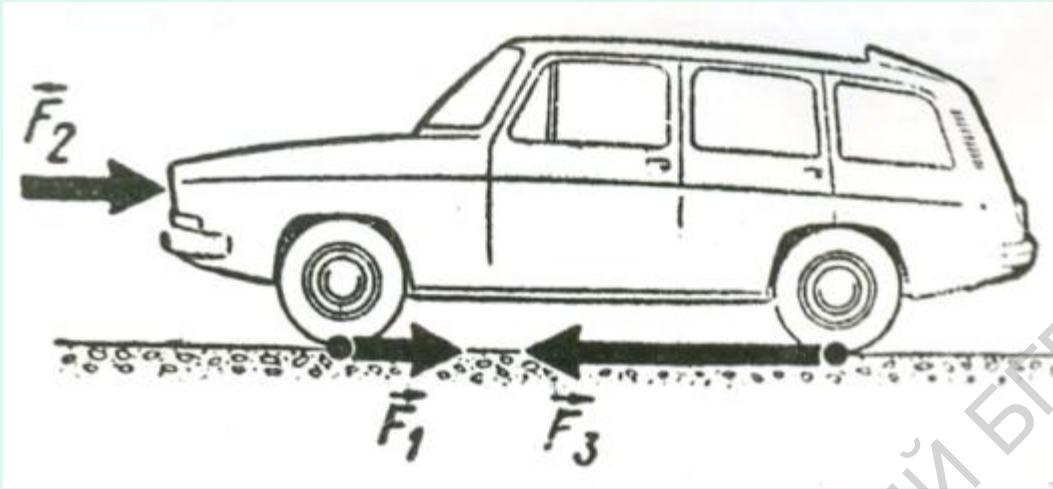
В повседневной жизни **силы трения** играют как **положительную**, так и **отрицательную** роль, причем их проявления разнообразны.

На использовании **статического трения** основаны скрепление деталей при помощи гвоздей, движение человека и автомобиля по земной поверхности.

Можно представить, какие возникли бы **трудности при ходьбе**, если бы **не** существовало сил статического трения (например, при гололеде).

Вообще говоря, **если бы** не было сил трения, невозможно было бы удержать любой предмет в руке. Во многих случаях **роль** сил трения наоборот **отрицательна**.

В первую очередь это касается деталей разных **машин и механизмов**, которые находятся в соприкосновении.



При всех видах трения применение **смазки** значительно **уменьшает силы трения**.

Влияние **смазки** заключается в том, что между трущимися поверхностями вводится слой **вязкой жидкости**, которая заполняет все неровности поверхностей и, прилипая к ним, образует **два трущихся слоя жидкости**.

Поэтому вместо трения двух твердых поверхностей **A** и **B** при смазке возникает **внутреннее трение жидкости**, которое значительно **меньше внешнего трения** двух твердых поверхностей.



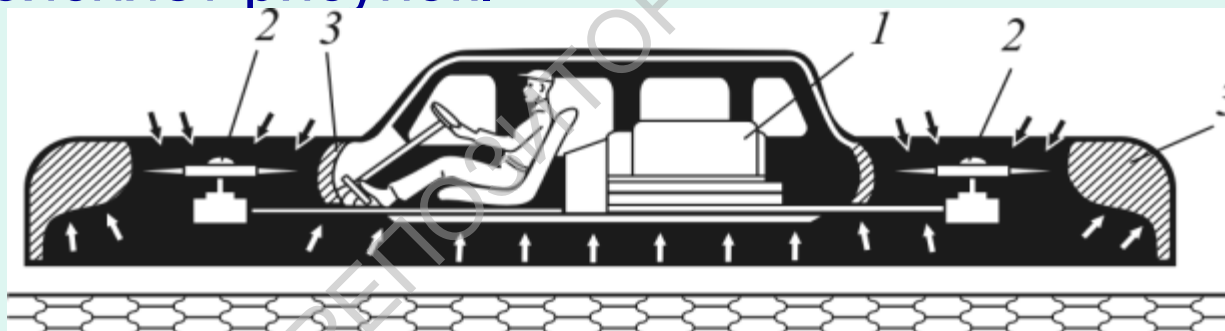
Применение смазочных масел **уменьшает трение** в **8—10 раз**. Типичный пример значения смазки представляет **бег конькобежца на коньках**.

В результате действия силы со стороны конькобежца на нож конька **снег тает** и под коньком появляется **вода**, которая вновь замерзает, после того как пробежал конькобежец и исчезло давление.

Однако в механизмах **вода** для смазки **не годится**, поскольку вследствие малой вязкости она **выдавливалась бы** из зазора неровностей между трущимися поверхностями.

В наше время создаются такие сложные средства передвижения, как вездеходы на «**воздушной подушке**», которая удерживает вездеход на некотором расстоянии от земли и резко уменьшает силу трения при его движении.

Принцип действия вездехода-автомобиля на воздушной подушке поясняет рисунок.



Потребности новой техники, где имеют место высокоскоростные и высокотемпературные режимы, привели к широкому применению различных **смазочных материалов** (как жидких, так и твердых) и созданию специальных **самосмазывающихся материалов**.